图书情报工作
第 64 卷 第 16 期 2020 年 8 月

虚拟现实阅读用户交互体验评价指标构建及实证研究*

■ 王晰巍[1,2,3] 郑国梦[1] 王铎[1] 陶冰心[1]

[1] 吉林大学管理学院 长春 130022 [2]吉林大学大数据管理研究中心 长春 130022

[3] 吉林大学网络空间治理研究中心 长春 130022

摘 要：[目的/意义]以 VR 阅读用户交互体验为研究对象，从交互过程出发构建一个综合的、全面的、科学的评价指标体系；结合层次分析法和模糊综合评价法形成一套可靠性、可操作性强的评价方法，并以一个具体的 VR 阅读体验为例进行评价研究。本研究不仅有助于了解目前 VR 阅读体验的发展现状和内容特征，还可以对 VR 交互式阅读的应用和 VR 系统开发起到一定的指导和推动作用。[方法/过程]以人机交互相关理论为基础，从交互系统、交互内容、交互功能、交互界面设计、交互服务主体 5 个维度，通过线上、线下相结合的问卷调查获取数据，利用因子分析方法构建 VR 阅读用户的交互体验评价指标体系。[结果/结论]实证研究结果表明本研究所构建的评价指标和评价方法具有一定的可行性和可操作性，可以得到用户对 VR 阅读交互体验的综合的、全面的评价结果。

关键词：人机交互 虚拟现实阅读 用户交互体验 评价研究

分类号：G201

DOI：10.13266/j.issn.0252－3116.2020.16.007

1 引言

虚拟现实(Virtual Reality,VR)技术是一种新兴的实用技术[1]，是近几年人机交互(Human-Computer Interaction,HCI)领域的重点研究技术之一。VR 具有想象性(Imagination)、交互性(Interaction)和沉浸性(Immersion)[2]等特点，被广泛应用于军事、制造、医疗、教育等诸多领域[3]。自 20 世纪 90 年代开始，虚拟现实技术在知识传播领域逐渐发挥其特点，通过技术性的多重组合[4]和多感官刺激来满足受众对阅读的更高需求，并构建了 VR 阅读模式。VR 阅读是新兴技术在传统领域的重要创新，其本质是为读者提供更好的虚拟现实阅读交互体验。VR 阅读体验过程相对复杂，并且涉及到较多的软、硬件设备，目前对于 VR 交互体验的系统性评价指标和评价方法还在探索当中。因此，展开系统的、全面的 VR 阅读用户交互体验评价研究，对推动 VR 技术在未来不同场景中的应用具有重要理论和实践意义。

HCI 领域的评价研究主要关注交互设备或应用的可用性(Usability)和用户体验(Experience)等方面，而本研究则重点关注 VR 阅读用户交互体验的评价，近几年国内外已有学者在此领域开展了相关研究。罗薇借用户体验的 4 个层次来分析阅读体验层次，并指出了“沉浸”阅读的条件[5]；C. Hahnel 等研究发现读者阅读技能导致了个人数字文本理解的差异[6]；此外，国外相关研究还发现读者的态度与感知[7]、电子设备的特性[8]、媒体融合与网络技术[9]等会对阅读体验形成显著影响。然而，随着 VR 技术的普及和广泛应用，其作为信息获取工具重新定义了数字阅读的体验方式和交互模式，因此，如何对 VR 环境下的阅读体验进行系统性的评价成为亟需解决的研究问题。VR 体验具有沉浸性、交互性等独有的特点，国外学者近年来一直在对 VR 用户体验的评价进行研究。M. Yu 等以 8 个虚拟现实眼镜为研究对象，分别从硬件和应用两个方面对虚拟现实眼镜系统的用户体验质量进行了测试，开发了一份评估虚拟现实眼镜使用者体验的问卷[10]；K. Hooks 等就全方位虚拟现实步行模拟器用户体验进行了比较评价[11]；A. Somrak 等利用实验法采用 4 种不同

* 本文系国家自然科学面上项目“信息生态视角下新媒体信息消费行为机理及服务模式创新研究”(项目编号:71673108)研究成果之一。

作者简介：王晰巍(ORCID:0000－0002－5850－0126)，吉林大学大数据管理研究中心主任，教授，博士生导师；郑国梦(ORCID:0000－0002－7740－9045)，本科生；王铎(ORCID:0000－0002－5060－7893)，博士研究生，通讯作者，E-mail:2228927617@qq.com；陶冰心(ORCID:0000－0003－2476－0939)，本科生。

收稿日期:2020－03－12 修回日期:2020－05－22 本文起止页码:54－66 本文责任编辑:王传清

的虚拟现实设备评估虚拟现实技术对用户体验的影响[12]。从现有国内外的研究成果看，目前VR体验的相关评价大多涉及游戏、社交和医疗等领域，几乎没有针对VR阅读的相关研究，并且多以系统可用性和质量的评价为主，缺少以用户交互过程为核心的全面评价研究。

因此，本研究在现有VR应用评价和交互体验研究的基础上，从人机交互的视角出发，以虚拟现实阅读的用户交互体验过程为研究对象，通过文献搜集、问卷调研和因子分析相结合的方法，建立VR阅读的用户交互体验评价指标体系，通过实验法获取VR交互式阅读的用户体验数据，并对VR交互式阅读的用户体验进行模糊综合评价。本文在研究中试图回答以下研究问题：①如何从交互过程的角度构建虚拟现实阅读交互体验的评价指标体系？②如何基于构建的评价指标体系进行综合的评价？③虚拟现实阅读交互体验综合评价结果如何指导未来VR阅读的产业发展？

2 相关理论

2.1 虚拟现实交互式阅读体验

传统意义上的阅读是一种简单的能力，即从任何编码系统中获取视觉信息并理解其相应的含义[13]，基于抽象的文字去想象和理解作品的情节和人物[14]。随着数字化媒体时代的到来，阅读逐渐拓展到从移动终端的电子屏幕上获取信息和知识[15]。相对于传统的纸质出版物的阅读而言，数字阅读包含两方面含义：一方面是阅读对象的数字化，另一方面是阅读方式的数字化[16]。VR交互式阅读已经成为数字化阅读的重要组成部分，在传统的数字化阅读内容的基础上，VR交互式阅读可以使用户通过头戴式显示器在虚拟环境中进行沉浸式的阅读体验。VR交互式阅读在传统书籍、报刊和网站等文本形式的基础上，将阅读内容进行再次加工，使用户可以通过VR头戴式设备(Head-mounted Display, HMD)和移动控制器(Motion Controller)进行交互式的多媒体化阅读体验。用户在虚拟环境中不仅可以阅读文字和图片等内容，还可以观看与阅读内容相关的视频以及全景环境。不仅如此，用户还可以通过VR设备的控制器与虚拟场景中的对象进行交互，从而获取信息。VR交互式阅读相较于传统的阅读模式，具有以下特点：一是VR阅读是3D的而不是平面的[17]；二是VR阅读文本形式存在于逼真的背景环境中[18]；三是VR具有增强学习动机的潜力[19]，有利于VR阅读体验的提升。

用户体验是人机交互和交互设计领域流行的概念[20]，由N. Donald在20世纪90年代中期提出，用来表示用户与系统进行互动时建立起来的主观心理感受[21]，涵盖了用户的认知、情绪、偏好、知觉、生理与心理、行为等方面，并且贯穿于产品或服务使用的前、中和后期[22-23]。P. Jennifer[24]认为交互式设计是关于创建新的用户体验问题。阅读体验是读者通过参加阅读活动所获得的主观感受[25]。VR交互式阅读的用户体验是读者利用VR设备与虚拟现实环境进行交互，获得体验式阅读的过程和主观感受，同时也是用来判断VR交互式阅读的系统和内容等质量的有效参考，对VR阅读的普及和进一步发展具有重要意义。

2.2 虚拟现实中的人机交互过程

人机交互起源于20世纪70年代计算机系统中人的因素研究[26]，是在计算机交互的基础上发展起来的交叉领域[27]，涉及计算机科学、心理学和人体工程学以及社会科学中的多个学科[28]。人机交互技术通常指人与人、人与物、人与环境之间关系的设计，通过产品(包括物理、虚拟服务甚至系统)或媒介来相互支持、满足和创造的一种互动行为[29]。交互的媒介是计算机语言，最早的交互命令语言是机器语言[30]。随着图形界面的发展，人机交互的媒介也逐渐转变为图形界面[30]，人机交互行为过程也逐渐体现在用户行为和产品反馈两个方面，同时两者相互依存[29]。人机交互行为是人与机器之间一种深层次的双向“交流”，界面是交互行为中间的交互桥梁[29]。人机交互的主要方式有语音识别、手势识别和跟踪等，在这种新型人机交互形式下可以传递的信息大大增加[30]。

VR交互式阅读的用户体验评价是一个复杂和受多因素影响的过程。VR技术通过计算机模拟的环境使用户可以在虚拟环境中与虚拟的对象进行互动[31]，而VR用户的体验过程也是用户在计算机提供的虚拟环境中进行交互的过程[32]，因此，VR用户的体验可以被视作一种人机交互的过程。人机交互的过程可以被描述为人通过传感器监视计算机的状态，并通过响应器、控制器显示和控制计算机的状态[33]，如图1所示。虚拟现实中的人机交互过程贯穿于VR阅读用户交互体验的始终，由用户、输入设备(运动控制器)、计算机和输出设备(头戴式显示器)构成了一个完整的闭环。通过人机交互过程的视角来分析VR阅读用户体验，可以更加客观和全面地反映用户交互的过程。

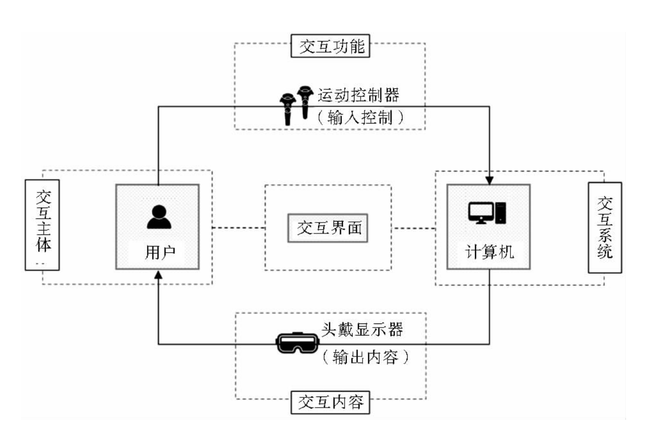


图 1 人机交互视角下 VR 阅读用户体验的交互过程

3 评价指标构建

3.1 评价指标的构建

为了系统性地评价 VR 阅读用户的交互体验，本文根据人机交互过程的相关理论[33]，从人机交互的视角将 VR 交互式阅读的用户体验过程分解为交互主体、交互功能[34-35]、交互系统[36]、交互内容和交互界面[37]5 个部分，从"交互理论和交互过程"出发构建 VR 阅读的用户交互体验评价指标体系。

本文经过相关文献的梳理并结合 VR 阅读的特征，针对上述 5 个维度设计了包含 23 个二级指标的评价指标体系，指标的解释及二级指标主要参考来源如表 1 所示。其中，考虑到 VR 阅读信息内容的特殊性，交互内容维度不仅包括阅读内容的全面性、丰富性和可获得性等指标，还包括用户在交互式阅读体验中获得的完整的、丰富的、合理恰当的阅读内容。此外，结合 VR 阅读体验的交互性特征，在交互功能维度采用了虚拟场景交互性、交互对象多元性和交互功能易用性等指标；在交互系统维度采用了系统响应性、可靠性、流畅性和便捷性等指标，即在 VR 阅读体验过程中，用户与系统交互获取阅读内容时，无系统卡顿和崩溃等现象。

表 1 VR 阅读交互体验评价指标体系

序号	维度	指标	说明	主要参考来源
1	交互系统	交互系统响应性	在 VR 阅读体验过程中，VR 系统的处理速度和反应速度	文献[4]、[38]、[39]
2		交互系统可靠性	在 VR 阅读体验过程中，VR 系统运行良好没有出现系统崩溃等不良现象	文献[39]、[40]、[41]
3		交互系统流畅性	在 VR 阅读体验过程中，VR 系统运行流畅，无卡顿现象	文献[42]、[40]
4		交互系统便捷性	VR 阅读体验中，交互操作可回退、可随时结束进程	文献[39]
5	交互内容	交互内容全面性	VR 阅读体验提供的信息内容是完整的，不是片段或部分截取	文献[43]
6		交互内容丰富性	VR 阅读体验为用户提供了多种类型的信息呈现形式	文献[40]
7		交互内容可获得性	用户通过一定的交互方式找到所需阅读信息的难易程度	文献[43]
8		交互内容合理性	VR 阅读的交互体验为用户提供了合理恰当的信息内容，并且信息内容与 VR 交互体验的主题具有很高的一致性和相关性	文献[39]
9		交互内容易理解性	信息内容易于理解，内容本身不繁琐、不复杂，有益于用户对于信息内容的掌握和使用	文献[43]、[42]
10	交互功能	虚拟场景交互性	VR 阅读体验中的交互功能可以让 VR 阅读用户在不同虚拟现实场景间实现顺畅转换	文献[44]
11		交互对象多元性	VR 阅读体验中的虚拟现实场景为用户提供了多元的、丰富的可交互对象	文献[44]
12		交互功能易用性	VR 阅读体验过程中交互功能使用的难易程度	文献[38]、[41]
13		交互功能易学性	VR 阅读体验为用户提供了完整的、全面的交互功能教学指导，可以帮助用户在较短时间内学习并掌握交互功能	文献[39]、[40]
14		交互方式多样性	VR 阅读体验能够通过手柄、手势或其他输入输出设备为用户提供多样的交互方式	文献[45]
15	交互界面	界面布局合理	VR 阅读体验中的交互界面结构清晰、布局合理	文献[43]
16		界面设计美观	VR 阅读体验中的交互界面图像色彩搭配协调，设计美观，视觉体验性强	文献[43]
17		界面主题突出	交互界面设计的内容符合 VR 阅读体验主题，与具体的 VR 体验主题相关	文献[43]
18		界面标识清晰	VR 阅读设备提供的交互界面导引标识清晰易找、简单易懂	文献[43]
19	交互主体	用户交互行为意愿	VR 阅读用户与 VR 设备提供的虚拟现实环境进行交互意愿的强烈程度	文献[39]、[41]
20		用户交互需求满足	VR 体验可以满足用户的多种交互需求；能得到虚拟现实平台之间用户数据的关联、交互的可控性等；虚拟现实平台的一些服务或功能能给用户带来惊喜等	文献[39]
21		用户交互舒适度	VR 阅读设备的佩戴、系统以及与人的相互作用是可调节的，以适应 VR 阅读用户的身体状况，使得 VR 阅读用户与虚拟现实世界的交互从生理和心理上来看都是令人满意的	文献[39]、[40]
22		用户沉浸感	VR 阅读用户全身心投入到 VR 设备创设的虚拟现实环境中，身临其境般地体验 VR 所展示的虚拟情境，即用户对 VR 环境中的人与事物的存在的感知与认可程度	文献[40]、[44]
23		用户交互满意度	用户对 VR 阅读交互体验的整体满意程度	文献[38]

为了构建一个科学、有效的评价维度和指标体系，本研究在初步构建评价指标后通过因子分析方法对指标体系的合理性进行验证，并根据因子分析结果对指标体系的构成进行修正。其中因子分析过程分为前测和正式调查两个阶段，分别通过探索性因子分析(Exploratory Factor Analysis，EFA)和验证性因子分析(Confirmatory Factor Analysis，CFA)所得到的因子载荷系数及模型适配度结果对评价指标体系进行相应调整。

3.2 问卷设计与前测

3.2.1 问卷设计

本文根据前文构建的 5 个维度 23 个二级评价指标，并结合相关研究的问卷内容，设计了包括 23 个题项的 VR 交互式阅读的用户体验评价问卷。其中 23 个题项分别对应前文提出的 23 个二级评价指标，用于评价 VR 交互式阅读的用户体验情况，如交互内容的全面性是指该平台能够提供权威、完整和优质的阅读内容。本文结合 VR 交互式阅读体验的特点，将该题项设置为“通过 VR 体验，我能够获得完整的信息内容”[46-47]；交互需求满足即“我认为该服务完全能满足我的需求”[48-49]。该问卷的答项采用李克特七级量表，“1”表示“非常不符合”，“7”表示“非常符合”，具体内容见表 2。

3.2.2 前测问卷的信度和效度检验

为了验证该问卷是否能够满足本研究的需要，本文在正式调查之前进行前测。本文通过线上渠道对 VR 用户进行问卷调查，共发放问卷 80 份，回收问卷 70 份，其中有效问卷 65 份，要求受试者对该问卷进行评价并提出建议。预调查中受访男性 35 人，女性 30 人，男女比例大体均衡。从学历和年龄上看，此次调查主要覆盖的是 35 岁以下接受过高等教育的年轻群体。本文对回收的前测问卷进行了信效度检验和因子分析。

研究采用 Cronbach’s Alpha 对量表的信度和内在一致性进行分析。在本文前测问卷的 5 个维度当中，每个维度的总体信度均在 0.80 以上(即大于 0.70)，23 个题项的总体信度达到 0.921，表明问卷的可靠性很高，信度非常好。本文对前测样本进行了因子分析的可行性检查，量表的 KMO＝0.823(＞0.50)，Bartlett 球形检验 c2＝934.510(P＜0.001)，说明在前测问卷样本的相关矩阵中存在公共因子，总体效度达到满意水平，因此该样本量可以继续进行更深一步的探索性因子分析。

本研究采取最大似然分析法来进行探索性因子分析，并以最大方差法进行因子旋转，抽取出 5 个公共因子解释了 23 个变量的 69.571%(＞60%)。为了探索量表的内在结构，本文选择具有 Kaiser 标准化的正交旋转法(最大方差法)，旋转在 7 次迭代后收敛。将旋转成分矩阵按“大小排序，取消小系数，绝对值取 0.4”处理后，数据结果见表 3。

3.2.3 问卷指标的修正

根据前测样本的 EFA 结果显示，矩阵中的因子 II4 在 5 个维度上的载荷均小于 0.4，说明这一因子并不能被明确地归属为 5 个主成分中的任何一个。因子 II4 对应的是交互界面维度中的“标识清晰”这一指标。由于 VR 阅读体验不同于 VR 游戏等其他 VR 体验，其交互界面以大面积的文字、图片等信息为主，标识、按钮等元素相对较少，用户在评价这一指标时可能没有反映出对交互界面的评价；而其他 3 个指标“布局合理”“设计美观”及“主题突出”可以完整地对 VR 阅读体验的交互界面进行评价，因此本文结合因子分析结果将指标 II4 予以删除。其余 22 个指标分为比较明显的 5 个类别：第一类是 UP1、UP2、UP3、UP4、UP5、IC4、IC5；第二类是 IF1、IF2、IF3、IF4、IF5、IS4；第三类是 II1、II2、II3；第四类是 IC1、IC2、IC3；第五类是 IS1、IS2、IS3。由此可见，结果与初步构建的模型有一定的差别，但评价维度大体与构建的模型一致。因此，为保证研究的科学性与严谨性，此时不对问卷量表进行大幅度修改，待正式调查之后，利用验证性因子分析和 EFA 来进一步对评价指标体系的合理性进行验证。此外，本研究还对前测用户的意见进行归纳，对问卷中的问项描述进行调整，对不易理解的题项增加文字说明，修改后的问卷见表 4。

3.3 正式调查

3.3.1 问卷发放

在正式调查阶段，本研究采用线上和线下相结合的方式进行问卷调查。虽然 VR 技术在近几年得到了迅速的发展，但是 VR 设备的普及程度仍然不高，很多用户只对 VR 体验有基本了解但没有进行过实际的 VR 交互体验。为了能够得到更客观、更准确的评价结果，本研究要求所有的调查对象都必须有过 VR 阅读体验经历。因此，本研究对线上受访对象的填写资格进行严格筛查，并通过线下方式邀请受访者到实验室进行 VR 交互式阅读体验，填写 VR 交互式阅读的用户体验评价问卷，以保证问卷样本的真实性和有效性。此次调查共回收问卷 265 份，其中 118 份来自于进行

表 2 VR 交互式阅读的用户体验评价前测问卷量表题项

维度	编码	指标	题项
交互系统 Interactive System	IS1	交互系统响应性	VR 系统能够及时处理并响应我的操作
	IS2	交互系统可靠性	系统运行稳定,没有出现强退、系统崩溃等故障
	IS3	交互系统流畅性	VR 体验过程中出现卡顿、系统运行不流畅等现象
	IS4	交互系统便捷性	VR 系统设计合理、操作便捷,可退出、结束等
交互内容 Interactive Content	IC1	交互内容全面性	通过 VR 体验,我能够获得完整的信息内容
	IC2	交互内容丰富性	通过 VR 体验,我能够获取到多种信息资源类型,如文字、图片、音频、视频等
	IC3	交互内容可获得性	我通过 VR 体验获取到了我所需要的信息
	IC4	交互内容合理性	通过 VR 体验,我获取到的内容是合理、恰当的
	IC5	交互内容易理解性	我通过 VR 体验所获取的信息内容是容易理解的
交互功能 Interactive Function	IF1	虚拟场景交互性	我能够实现不同场景间的顺畅转换
	IF2	交互对象多元性	我能够与虚拟场景中不同的虚拟对象进行交互
	IF3	交互功能易用性	我很容易利用 VR 设备进行交互体验
	IF4	交互功能易学性	我能够在较短时间内学会如何使用 VR 设备
	IF5	交互方式多样性	我能够通过多种交互方式进行 VR 体验
交互界面 Interactive Interface	II1	界面布局合理	VR 中的界面结构清晰、布局合理
	II2	界面设计美观	VR 中的界面设计美观、图像色彩搭配协调
	II3	界面主题突出	VR 中的界面设计风格与体验内容的主题相符合
	II4	界面标识清晰	VR 中的界面具有清楚可见的标识、图案、提示等
交互主体 User Perception	UP1	交互行为意愿	我愿意通过 VR 设备在虚拟环境中进行交互操作
	UP2	交互需求满足	通过 VR 体验,我的交互需求得到了满足
	UP3	交互舒适度	在 VR 体验中,我感到很舒适
	UP4	沉浸感	我能够全身心投入到 VR 体验的虚拟环境中
	UP5	交互满意度	我对 VR 交互体验的过程感到很满意

表 3 前测问卷因子分析 – 旋转成分矩阵

观测量	成分				
	1	2	3	4	5
UP3	0.798				
UP5	0.722				
UP4	0.654				
UP2	0.637				
UP1	0.545				
IC4	0.498			0.401	
IC5	0.464				
IF2		0.773			
IF3		0.730			
IF5		0.696			
IS4		0.568			0.536
IF1		0.521			
IF4		0.520			
II2			0.946		
II1			0.641		
II3	0.464		0.620		
II4					
IC2				0.771	
IC1				0.721	
IC3	0.457			0.517	
IS1					0.839
IS2					0.642
IS3					0.566

提取方法:最大似然法。旋转方法:凯撒正态化最大方差法。a. 旋转在 7 次迭代后已收敛

表 4 VR 交互式阅读体验评价正式问卷指标构成

维度	编码	指标
交互系统 Interactive System	IS1	交互系统响应性
	IS2	交互系统可靠性
	IS3	交互系统流畅性
	IS4	交互系统便捷性
交互内容 Interactive Content	IC1	交互内容全面性
	IC2	交互内容丰富性
	IC3	交互内容可获得性
	IC4	交互内容合理性
	IC5	交互内容易理解性
交互功能 Interactive Function	IF1	虚拟场景交互性
	IF2	交互对象多元性
	IF3	交互功能易用性
	IF4	交互功能易学性
	IF5	交互方式多样性
交互界面 Interactive Interface	II1	界面布局合理
	II2	界面设计美观
	II3	界面主题突出
交互主体 User Perception	UP1	交互行为意愿
	UP2	交互需求满足
	UP3	交互舒适度
	UP4	沉浸感
	UP5	交互满意度

线下体验的受访者,最终有效问卷250份。回收的调查问卷被随机分成两部分,每部分样本125份,一部分进行探索性因子分析,另一部分进行验证性因子分析。

3.3.2 探索性因子分析

正式问卷的数据分析采用与前测问卷相同的方法,利用SPSS 25.0进行KMO和Bartlett球形度检验。数据结果KMO = 0.840, Bartlett球形检验C2 = 1 470.710($P < 0.001$),达到探索性因子分析要求,提取了5个公因子,共解释了22个变量的65.470%(大于60%),旋转在第6次迭代后收敛,将旋转成分矩阵按"大小排序,取消小系数,绝对值取0.4"处理后,得到旋转成分矩阵见表5。

表5 正式问卷因子分析－旋转成分矩阵

观测量	成分				
	1	2	3	4	5
IF3	0.832				
IF5	0.735				
IF4	0.684				
IF2	0.630				
IF1	0.470				
IC3		0.775			
IC1		0.743			
IC4		0.642			
IC2		0.542			
UP4			0.705		
UP5			0.662		
UP3			0.651		
UP2			0.468		
UP1			0.414		
IC5					
II2				0.938	
II1				0.629	
II3				0.620	
IS3					.698
IS1					.528
IS4					.525
IS2					.505

提取方法:最大似然法。旋转方法:凯撒正态化最大方差法。a.旋转在6次迭代后已收敛

从探索性因子分析结果可以看出,在提取5个公共因子之后,各项指标与前测修正后的指标模型具有较为一致的指标分类。公因子1解释了IF1、IF2、IF3、IF4、IF5共5项指标,对应量表中交互功能维度的全部指标;公因子2解释了交互内容维度中IC1、IC2、IC3、IC4的4项指标;公因子3解释了交互主体维度中UP1、UP2、UP3、UP4、UP5的全部指标;公因子4解释了交互界面维度中II1、II2、II3的全部指标,公因子5解释了交互系统维度中IS1、IS2、IS3、IS5的全部指标。其中有两处与量表设计存在出入:UP1指标在5个公因子的载荷量均低于0.4;UP1在因子3上的载荷量较低。由此可见问卷量表的设计上可能还存在一定的不足,因此本研究进一步通过CFA对数据进行分析。

3.3.3 验证性因子分析

本次研究利用结构方程模型软件AMOS 21.0进行验证性因子分析,使用第二部分样本数据(125份)对指标的有效性进行检验。本文设置了22个观察变量,5个潜在变量,选择最大似然法进行模型的运算,得到的观察变量与其潜在变量之间的载荷关系系数估计,分析结果见表6。该模型中C.R.值大于2.58,P(显著值)小于0.001,故该模型达到显著水平,模型的显著性很好。

本研究中各路径M.I.(修正指数)值的结果中,在由UP1和IC5为主要指标所构成的相关路径时,M.I.值受到的影响相对较大。因此,本文设立A、B、C三组来对比不同操作后适配度的结果:A组删掉UP1;B组删掉IC5;C组删掉UP1和IC5。根据表7的数据结果可以看出,当同时去掉UP1和IC5时,释放与这两项指标相关的路径后可以得到更高的模型适配度。因子UP1和IC5分别代表交互主体维度中的指标"交互行为意愿"和交互内容维度中的指标"交互内容易理解性"。交互行为意愿指用户的主观意愿,其意义与沉浸感、舒适度等交互体验过程中的感受存在一定的不一致性;易理解性通常用来评价传统的以文字为主的阅读内容,而VR阅读体验内容除文字外还有大量的图片和虚拟环境等信息类型,易理解性不一定适用于全部的信息类型。为了提高评价指标体系的科学性与合理性,本文结合验证性因子分析的模型适配度结果和评价指标的意义对评价指标体系中的UP1和IC5两个指标进行删除,最终得到共包括5个维度和20个指标的VR用户交互式阅读体验评价指标体系,并以此构建评价指标层次模型见图2。

4 评价方法与实证研究

4.1 综合评价方法

在前文构建的评价指标体系基础上,本文在实证研究阶段试图构建一套可靠性、可操作性较强的评价方法,并以一个具体的VR阅读体验为例进行评价研究,从而探究如何将该评价指标应用于实践。VR阅读用户交互体验是一个较为主观的评价对象,选取的评

表 6 观测变量及其对应潜变量之间的载荷系数估计

			Estimate(未标准化)	S. E.	C. R.	P	Estimate(标准化)
IS4	←	交互系统	1.000				.754
IS3	←	交互系统	.955	.102	9.389	***	.809
IS2	←	交互系统	1.295	.124	10.470	***	.890
IS1	←	交互系统	1.122	.113	9.912	***	.848
IC4	←	交互内容	1.000				.850
IC3	←	交互内容	1.103	.088	12.580	***	.858
IC2	←	交互内容	1.044	.085	12.287	***	.847
IC1	←	交互内容	.999	.078	12.844	***	.868
IF5	←	交互功能	1.000				.838
IF4	←	交互功能	1.044	.093	11.197	***	.817
IF3	←	交互功能	1.072	.082	13.134	***	.899
IF2	←	交互功能	1.073	.088	12.150	***	.859
IF1	←	交互功能	.935	.083	11.304	***	.822
II3	←	交互界面	1.000				.915
II2	←	交互界面	1.109	.065	17.006	***	.916
II1	←	交互界面	1.028	.062	16.617	***	.908
UP5	←	交互主体	1.000				.878
UP4	←	交互主体	.955	.076	12.626	***	.844
UP3	←	交互主体	.964	.075	12.850	***	.851
UP2	←	交互主体	.882	.073	12.015	***	.821
IC5	←	交互内容	.742	.083	8.948	***	.691
UP1	←	交互主体	.807	.077	10.415	***	.756

表 7 模型适配度指标值比较

	操作	CMIN/DF(1-3)	RMSEA(<0.80)	GFI(>0.80)	CFI(>0.90)	NFI(>0.80)	IFI(0.90)
原始组	—	1.623	0.071	0.807	0.953	0.887	0.953
A 组	去掉 UP1	1.530	0.065	0.826	0.962	0.899	0.963
B 组	去掉 IC5	1.593	0.069	0.818	0.958	0.896	0.959
C 组	去掉 UP1\\IC5	1.482	0.062	0.839	0.968	0.909	0.968

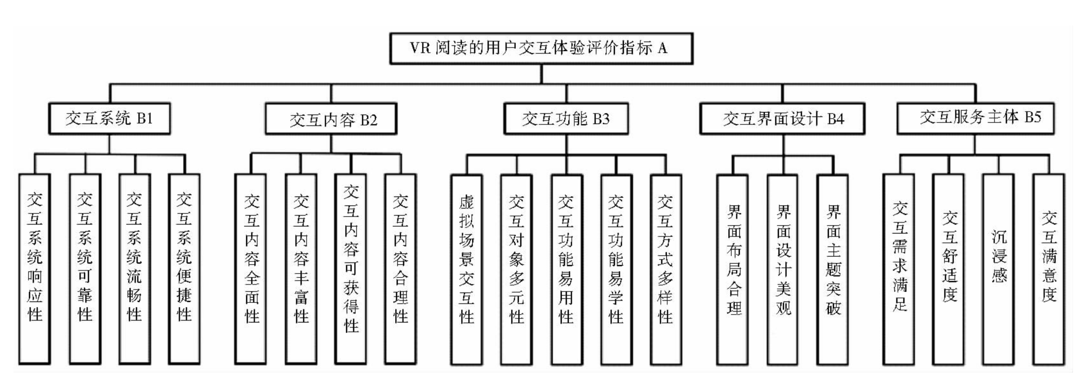


图 2 VR 阅读的用户交互体验评价指标体系层次模型

价指标多数为定性指标,而定性指标难以进行准确的判断和评级。为解决这一问题,层次分析法与模糊综合评价相结合的评价方法被广泛地应用于用户体验的相关研究,例如刘阳等利用层次分析法和模糊综合评价法构建了一种移动社交网络的用户体验模糊综合动态评价模型[50]。层次分析法是解决涉及主观判断的复杂决策问题的一种有效方法[51-52]。它将复杂问题分解成各个不同的组成因素,将这些因素按支配关系从最高的总目标层、准则层到最低的方案层一一排列,然后通过邀请专家打分构造元素间的两两判断矩

阵[53]，建立针对评价问题的层次分析结构模型。模糊综合评价以模糊数学为基础，应用模糊关系合成原理将一些边界不清、不易定量的因素定量化并用精确的数学来表达[54]。并且，模糊综合评价具有系统性强、结果清晰的优点，尤其适用于难以量化的、模糊的各类非确定性评价对象，如用户体验属性[55－56]中的主观性、不确定性、模糊性和可扩展性等问题。

4.2 实验设计与数据获取

为了确保数据的可靠性和有效性，本研究招募了24名受试者进行实地的VR交互式阅读体验，其中男性14人，女性10人。所有的受试者都具有一定的VR设备使用经验，其中17人使用过VR设备1－5次，7人使用过VR设备6－10次。此外，本文还对受试者对VR体验的感兴趣程度进行了调查，其中没有人表示对VR体验不感兴趣，16人表示对VR体验很感兴趣或非常感兴趣。

本研究的实验素材选取的是VIVE Port平台中的VIVE Paper阅读体验。VIVE Port是目前市场上主流的VR内容体验平台，其中VIVE Paper是VIVE Port平台中一款具有代表性的VR交互式阅读体验应用。VIVE Paper为用户提供手柄、手势等方式阅读VR版本的虚拟阅读内容，并且阅读体验内容包括文字、图片、视频、全景环境等多感官的信息，适用于本研究所构建的评价指标及评价方法。由于所有受试者都是第一次使用VIVE Paper阅读体验，为确保评价结果客观、准确，本研究在正式实验之前要求每名受试者完成VIVE Paper阅读的教学体验，并且掌握主要功能使用方法。用户体验过程使用HTC VIVE头戴式设备完成，本研究通过GoPro摄像机和OBS Studio录制软件全程记录了用户的体验过程，实验过程画面如图3所示：





图3 受试者进行VR阅读交互体验的过程及第一人称视角画面

在正式阅读体验结束之后，所有受试者按照要求填写本研究所构建的VR阅读的用户交互体验评价指标问卷。其中VR交互式阅读体验评价等级V＝{很差，差，一般，良好，很好}的对应分数的标准值为{S1，S2，S3，S4，S5}＝{1，2，3，4，5}。用相应的分值表示评价结果，统计得到相应的结果。24名VR用户对各评价指标的评价结果见表8。

4.3 评价过程与结果

本研究的评价过程首先采用专家打分法要求9位专家为指标权重打分，包括VR科研领域的专家3名、VR设备技术领域专家3名、VR资深用户3名，并依次编号为1－9号。各领域专家根据自己的知识以及相关经验对两两因素的相对重要性进行评分，以矩阵的形式表示各个指标相对于VR用户交互式阅读体验评价的重要程度。本文通过T. L. Saaty的“1－9标度方法”对准则层和指标层的各项指标的相对重要性进行判断，进而构造两两相比判断矩阵。由于VR交互式

表8 用户评价结果

评价指标	很差	差	一般	良好	很好
交互系统响应性	0	0	5	12	7
交互系统可靠性	0	0	2	3	19
交互系统流畅性	2	1	4	14	3
交互系统便捷性	2	0	3	5	14
交互内容合理性	0	3	6	3	12
交互内容全面性	0	0	1	9	14
交互内容可获得性	1	1	7	12	3
交互内容丰富性	0	1	5	11	7
虚拟场景交互性	0	1	2	9	12
交互功能易学性	2	0	3	12	7
交互对象多元性	1	2	5	5	11
交互功能易用性	0	0	1	6	17
交互方式多样性	2	4	3	10	5
界面主题突出	1	2	8	8	5
界面布局合理	0	3	4	10	7
界面设计美观	1	1	3	12	7
沉浸感	1	1	3	9	10
交互需求满足	0	4	3	10	7
交互舒适度	0	3	3	10	8
交互满意度	0	1	2	12	9

阅读的用户体验评价指标具有复杂性与多样性，且评分专家对各项指标的认识和判断力各不相同，专家对各指标评判具有一定主观性，因此判断矩阵中各项取值可能存在一定偏差。

为了避免主观因素造成的重大偏差，使用公式 CR = CI/RI，对判断矩阵进行一致性检验。其中，CR 表示判断矩阵的随机一致性比率，$CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1)$ 表示判断矩阵的一般一致性指标，R_i 表示判断矩阵的平均随机一致性指标。经过计算此矩阵 M 的 CI = 0.102 5，CR = 0.091 5 < 0.1，一致性检验通过。检验发现 CR 值小于 0.1，得到的模糊一致矩阵具有一致性。VR 用户交互式阅读体验评价指标综合权重结果如表 9 所示：

表 9　VR 用户交互式阅读体验评价指标综合权重

准则层 B_i	权重	指标层 B_{ij}	权重	合成权重 $B_i * B_{ij}$
交互系统	0.410 5	交互系统响应性	0.221 4	0.090 9
		交互系统可靠性	0.481 4	0.197 6
		交互系统流畅性	0.241 1	0.099 0
		交互系统便捷性	0.056 1	0.023 0
交互内容	0.034 8	交互内容合理性	0.556 9	0.019 4
		交互内容全面性	0.066 1	0.002 3
		交互内容可获得性	0.116 6	0.004 1
		交互内容丰富性	0.260 4	0.009 1
交互功能	0.293 3	虚拟场景交互性	0.192 4	0.056 4
		交互功能易学性	0.281 9	0.082 7
		交互对象多元性	0.063 3	0.018 6
		交互功能易用性	0.416 3	0.122 1
		交互方式多样性	0.046 1	0.013 5
交互界面设计	0.081 8	界面主题突出	0.111 1	0.009 1
		界面布局合理	0.444 4	0.036 3
		界面设计美观	0.444 4	0.036 3
交互服务主体	0.179 6	沉浸感	0.065 2	0.011 7
		交互需求满足	0.364 2	0.065 4
		交互舒适度	0.206 4	0.037 1
		交互满意度	0.364 2	0.065 4

一致性检验通过之后，本研究基于模糊综合评价建立 VR 阅读的用户交互体验评价指标因素集合。然后确定综合评价结果的等级集合，其中包括“很好、良好、一般、差、很差”共 5 个等级。在构建隶属度矩阵过程中，由于 VR 交互式阅读的用户体验评价指标中很多定性指标取值很难进行统一的客观化测度，因此只能基于用户体验对 VR 设备使用行为在某一项指标上体验程度给出评分，进而得到模糊关系矩阵。如评价指标“交互系统响应性”上有 0% 的用户认为很差、0% 的用户认为差、20.83% 的用户认为一般、50% 的用户认为好、29.17% 的用户认为很好。由此可以得出“交互系统响应性”的单因素评价结果，隶属度向量 r_{11} = (0 0 0.208 3 0.5 0.291 7)，进而可以得出由 *B* 类指标构成的隶属度向量矩阵 Ri。在多因素模糊综合评价阶段，本文将指标 B_i = (i = 1,2,3,4,5) 的权重向量 Wi，和其隶属矩阵 R_i 采用乘和算子运算，得到该 24 名 VR 用户对于指标 Bi 的综合评价结果 C_i。取评语集为 V = {60,70,80,90,100}，利用公式 $C_i \cdot V^T$ 得到受试者对每个维度的评价结果，分别为：交互系统 92.81 分，交互内容 89.92 分，交互功能 92.92 分，交互界面设计 88.79 分，交互服务主体 90.12 分。最后，综合 5 个维度指标的评价结果得到模糊矩阵 C_B。确定评价结果等级时，本文将 5 个维度评价指标的权重向量 W' 与模糊评价矩阵 C_B 进行乘和运算得到最终的评价结果：

$C = W'C_B = (0.021\ 5\ \ 0.038\ 8\ \ 0.121\ 8\ \ 0.360\ 8\ \ 0.457\ 0)$

由评价结果集发现，评价结果的隶属度由高到底分别为 0.457 0、0.360 8、0.121 8、0.038 8 及 0.021 5。根据最大隶属原则，反映出受试者对 VIVE Paper 交互阅读体验的总评价为很好。本文通过模糊评语集得到的最终评价结果，定性地反映了对应评价等级的隶属程度，为了使结果更具有直观性，对评价结果进行量化处理。通过进一步计算可得，受试者对 VIVP Paper 阅读交互体验的总评分为 91.93，VR 交互式阅读的用户体验评价结果为很好。

4.4　讨论分析

在 VR 阅读内容的设计和开发过程中，交互内容、交互功能及系统性能等方面一直以来都备受关注。由于目前计算机的性能仍有局限，对于交互内容的高画质追求必然要牺牲一部分系统性能。此外，交互功能、交互界面的复杂度会影响交互内容的呈现方式。因此，这几个维度之间始终是一种动态平衡的关系。

4.4.1　一级指标权重结果分析

本研究基于层次分析法得到了这 5 个一级指标的权重得分，其中最高的是交互系统 B1 为 0.410 5。这一数据结果说明交互系统是对用户在 VR 阅读交互体验影响最大的评价维度。VR 阅读具有丰富的视觉体验，因而 VR 阅读的设计开发人员一直致力于提高画面精美度和文字清晰度指标。为了保证用户综合的交互体验效果，VR 阅读内容的开发者一方面需要在画面质量与系统性能之间进行权衡；另一方面尽可能优化算法，从而减少程序执行过程对计算机性能的损耗，提

升用户的整体交互体验。其他 4 个评价维度权重得分,由高到低分别是交互功能 B3 为 0.293 3、交互服务主体 B5 为 0.179 6、交互界面设计 B4 为 0.081 8、交互内容 B2 为 0.034 8。其中,交互服务主体反映了目标用户在交互阅读体验过程中的主观感受,是提升交互式阅读体验的重要因素。VR 阅读体验的服务主体始终是用户,其目的就是为用户提供沉浸感更强、满意度更高的信息获取方式和 VR 交互体验。此外,交互界面和交互内容权重得分最低。这一结果说明相比于其他 3 个评价维度,交互内容和交互界面在 VR 用户交互式阅读体验中对用户综合评价结果的影响相对较小。VR 阅读还处在普及的初步阶段,大部分用户并未真正体验过,用户对 VR 阅读整体体验的新鲜感和满足好奇心的需求在一定程度上会高于对于阅读内容信息的具体需求。因此交互内容对评价结果的影响最小,这一结果是符合当前主要用户群体特征的。

4.4.2 二级指标权重结果分析

从各二级指标的权重得分来看,交互系统可靠性 B12 为 0.197 6,所占权重在所有二级指标中最大。这一结果说明,为了有效提高用户的综合体验评价以及对于交互系统的评价,系统的可靠性是最需要被关注的。交互功能易用性 B34 为 0.122 1,指标所占权重在所有二级指标中处于第二位,说明用户在 VR 设备交互使用过程中设备的使用难易程度也是非常重要的问题,同时这也是目前 VR 阅读体验没有得到广泛普及的原因之一。此外,交互内容全面性 B22 为 0.002 3,在二级评价指标中位于最后一位,这一数据结果表明虽然 VR 阅读体验的核心功能是为用户提供有价值的阅读内容,但是阅读内容并没有成为主要的评价指标。这一结果也说明,在当前 VR 阅读体验发展的初期阶段,影响用户交互阅读体验的主要因素仍是交互功能和交互系统所提供的沉浸体验本身。

4.4.3 评价结果分析

本研究结合前文构建的评价体系和评价方法,以 VIVE Paper 为例进行了评价研究。根据受试者填写的评价问卷数据计算出的 VIVE Paper 综合得分 91.93 分,综合评价结果为很好。这一结果表明总体来说用户对 VIVE Paper 这一 VR 阅读的交互体验很满意。从 5 个维度的得分来看,用户在进行 VR 交互式阅读体验时,对交互系统和交互功能的评价相对更高,分别为 92.81 分和 92.92 分。说明 VIVE Paper 在系统优化和交互功能设计等方面可以满足用户的需求。而交互系统维度对评价结果影响最大,这也表明 VIVE Paper 在交互系统方面表现尤为突出。然而,VIVE Paper 在交互内容和交互界面两个维度得分相对较低,分别为 89.92 分和 88.79 分。这一结果说明 VIVE Paper 在阅读内容和交互界面的设计方面还有较大的提升空间。目前的 VR 阅读还处于起步阶段,大部分阅读内容以图片和虚拟环境的体验为主,传统的文字类阅读内容相对较少,用户可能并未适应这样的阅读方式。此外,如何设计出简洁、美观、高效的虚拟环境中的交互界面至今仍是 VR 设计、开发人员努力探索的问题。一方面 VR 阅读体验中的交互界面需要提高,另一方面用户需要一些时间来使用 VR 中的交互阅读模式。随着 VR 阅读的逐渐普及,这些问题会逐渐得到改善。此外,VR 阅读面对的读者群体是多样化的,他们的阅读喜好也是各有不同。VR 阅读现有内容目前还无法满足不同用户的阅读需求,在 VR 阅读产品后续开发过程中,VR 设计人员可以通过调查了解当前大部分使用 VR 产品用户的阅读喜好,在设计过程中考虑到 VR 阅读产品的实用性和适用性。从调查结果来看,用户大多同意界面的设计风格贴近主题,但是导航标识、结构布局等方面还有所欠缺。VR 阅读界面设计处于一个探索阶段,与以往数字阅读不同,VR 设计人员在开发应用时需要考虑它的空间性。在未来的界面设计过程中,VR 设计人员应该结合用户的阅读体验和交互习惯进行调整。

5 研究结论

本研究以 VR 阅读用户交互体验为研究对象,创新性地从人机交互过程出发构建一个综合的、全面的、科学的评价指标体系;并以该指标为基础,结合层次分析法和模糊综合评价构建了一套切实可行的评价方法,并最终得到评价对象的综合评价结果及各维度的评价结果。本研究所构建的评价指标体系、评价方法以及实证研究的评价结果对于 VR 阅读用户交互体验相关的评价研究具有重要的意义。

理论层面,本文从人机交互的视角以交互系统、交互内容、交互功能、交互界面设计、交互服务主体 5 个维度构建了 VR 交互式阅读的用户体验评价指标体系,该指标体系不仅可以客观、全面地对 VR 阅读体验进行评价,还对 VR 游戏、VR 博物馆以及 VR 阅读等不同类型的应用以及增强现实、智能机器人等其他人机交互技术的用户体验评价具有重要的借鉴意义。实践层面,本研究所构建的综合评价方法可以从总体和各

个维度对 VR 阅读体验进行系统性地评价,而这一评价方法为该指标体系在具体实践中的评价过程提供了重要的参考。实证研究的数据结果表明,交互系统是 VR 用户最受关注的指标,交互内容和交互界面在 VR 用户交互式阅读体验中给用户带来的影响相对其它一级指标而言影响最弱,因而 VR 设计开发商应该更为关注 VR 交互系统的设计;二级指标数据结果表明,交互可靠性是用户最为关注的性能指标,用户对交互功能和系统本身的关注度要高于 VR 提供的阅读内容。本研究的实证结果表明该评价指标和评价方法可以系统性地考察 VR 阅读体验在各个方面的表现,有效地发现其优势和不足,进而有针对性地提出建议和对策,对 VR 交互式阅读的应用和 VR 系统开发起到一定的指导作用。此外,本研究所构建的评价指标体系还有较高的灵活性,除本文所使用的 AHP 和 FEC 方法外,还可以根据实际需求与其他评价方法相结合进行评价分析。

本研究也存在一定的局限性。在评价指标体系的构建阶段,主要以因子分析方法来验证指标体系的合理性和有效性,方法相对较为单一并存在一定的不确定性。在后续的研究中将会引入其他统计分析方法对评价指标体系进一步验证,以增强评价指标体系的全面性和可靠性。

参考文献:

[1] 李东航. 基于虚拟现实技术的平面图像交互系统设计[J]. 现代电子技术,2020,43(8):158-160,165.

[2] KING P. Virtual reality technology, 2nd edition - Book Review[J]. IEEE engineering in medicine and biology magazine, 2004, 23(1): 205-205.

[3] 沈阳,逯行,曾海军. 虚拟现实:教育技术发展的新篇章——访中国工程院院士赵沁平教授[J]. 电化教育研究,2020,41(1):5-9.

[4] RAU P, ZHENG J, GUO Z, et al. Speed reading on virtual reality and augmented reality[J]. Computers in education, 2018, 125(1): 240-245.

[5] 罗薇. 阅读体验的层次与"沉浸"阅读体验[J]. 艺术与设计(理论),2013,2(6):117-119.

[6] HAHNEL C, GOLDHAMMER F, NAUMANN J, et al. Effects of linear reading, basic computer skills, evaluating online information, and navigation on reading digital text[J]. Computers in human behavior, 2016, 22 (55) :486-500.

[7] HUANG K, CHEN K. Enhancement of reading experience: users' behavior patterns and the interactive interface design of tablet readers[J]. Library hi tech,2014,32(3):509-528.

[8] PARK E, SUNG J, CHO K, et al. Reading experiences influencing the acceptance of e-book devices[J]. The electronic library, 2015, 33(1): 120-135.

[9] MOYO M, ABDULLAH H. Enhancing and enriching students' reading experience by using social media technologies[J]. Mousaion,2013(2):135-153.

[10] YU M, ZHOU R, WANG H, et al. An evaluation for VR glasses system user experience: the influence factors of interactive operation and motion sickness[J]. Applied ergonomics, 2019,74(1): 206-213.

[11] HOOKS K, FERGUSON W, MORILLO P, et al. Evaluating the user experience of omnidirectional VR walking simulators[J]. Entertainment computing,2020,34(1):100352.

[12] SOMRAK A, HUMAR I, HOSSAIN M S, et al. Estimating VR sickness and user experience using different HMD technologies: an evaluation study[J]. Future generation computer systems, 2019, 94(1): 302-316.

[13] 毕达天,王福. 移动社交时代数字阅读互动机制及互动效应研究[J]. 图书情报工作,2018,62(2):56-64.

[14] 刘果. 场景视域下数字阅读特征与发展策略研究[J]. 湖南大学学报(社会科学版),2020,34(1):148-154.

[15] WANG Y. Integrating self-paced mobile learning into language instruction:impact on reading comprehension and learner satisfaction[J]. Interactive learning environments, 2017, 25 (3) :1-15.

[16] 郑方奇,赵宇翔,朱庆华. 用户体验视角下数字阅读平台人机交互界面的比较研究[J]. 图书馆杂志,2015,34(7):50-58.

[17] JANKOWSKI J, SAP K, IRZYNSKA I, et al. Integrating text with video and 3d graphics: the effects of text drawing styles on text readability[C]//Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems. New York: ACM, 2010: 1321-1330.

[18] LEYKIN A, TUCERYAN M. Automatic determination of text readability over textured backgrounds for augmented reality systems[C]//Third IEEE and ACM international symposium on mixed and augmented reality. Washington: IEEE Computer Society, 2004: 224-230.

[19] CHANG G, MORREALE P, MEDICHERLA P. Applications of augmented reality systems in education[EB/OL]. [2010-03-29]. https://www.learntechlib.org/primary/p/33549/

[20] HASSENZAHL M, TRACTINSKY N. User experience-a research agenda[J]. Behaviour & information technology, 2006, 25(2): 91-97.

[21] 诺曼. 设计心理学[M]. 梅琼,译. 北京:中信出版社, 2010.

[22] 韩挺,佐藤敬一. 基于设计信息框架的用户体验和行为[J]. 西北大学学报(自然科学版),2012,42(3):389-394.

[23] 赵宇翔,张苹,朱庆华. 社会化媒体中用户体验设计的理论视角:动因支撑模型及其设计原则[J]. 中国图书馆学报,2011,37(5):36-45.

[24] 普瑞斯,罗杰斯. 交互设计:超越人机交互 [M]. 普瑞斯,译. 北京:机械工业出版社, 2018.

[25] 张瀚东,李桂华. 阅读体验对高校图书馆阅读推广传播效应的影响[J]. 国家图书馆学刊,2019,28(6):54－65.

[26] PARGMAN D, ERIKSSON E, BATES O, et al. The future of computing and wisdom: insights from human-computer interaction [J]. Futures, 2019, 113(1): 102434.

[27] SHU Y, XIONG C, FAN S. Interactive design of intelligent machine vision based on human-computer interaction mode[J]. Microprocessors and microsystems, 2020,75(1): 103059.

[28] ALAN D. Human-computer interaction, foundations and new paradigms[J]. Journal of visual languages & computing,2017,42(1): 122－134.

[29] GAO Y. Cognitive guidance and improvement of Alzheimer's disease patients based on human-computer interaction design [J]. Cognitive systems research, 2019,56(1): 192－202.

[30] SHI Y, ZHANG Z, HUANG K, et al. Human-computer interaction based on face feature localization[J]. Journal of visual communication and image representation, 2019,70(1): 102740.

[31] SCHUEMIE M, VAN D, KRIJN M, et al. Research on presence in virtual reality: a survey [J]. Cyber psychology & behavior, 2001, 4(2): 183－201.

[32] OPREA S, MARTINEZ-GONZALEZ P, GARCIA A, et al. A visually realistic grasping system for object manipulation and interaction in virtual reality environments[J]. Computers & graphics, 2019, 83(1): 77－86.

[33] MACKENZIE I. Human-computer interaction: an empirical research perspective[M]. Newnes:Morgan Kaufmann, 2012.

[34] 齐雪. 数字图书馆交互功能评估研究[D]. 天津: 南开大学, 2014.

[35] 李月琳,梁娜,齐雪. 从交互维度到交互功能:构建数字图书馆交互评估理论模型[J]. 中国图书馆学报,2016,42(1):66－82.

[36] MARCH G. Evaluation digital libraries: alongitidina land mutifaceted view [J]. Library trends,2000,49(2):304－333.

[37] 黄晓斌,卢琰. 论数字图书馆用户界面的评价[J]. 图书馆论坛, 2005(3):16－19.

[38] CARVALHO R, ANDRADE R, De O, et al. AQUArIUM - a suite of software measures for HCI quality evaluation of ubiquitous mobile applications[J]. Journal of systems and software, 2018,136(1): 101－136.

[39] 王海霞. 企业信息化环境下人－信息系统交互效率评价研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.

[40] PARK J, HAN S, PARK J, et al. Development of a web-based user experience evaluation system for home appliances[J]. International journal of industrial ergonomics, 2018, 67(1): 216－228.

[41] PARK M, YOO J. Effects of perceived interactivity of augmented reality on consumer responses: a mental imagery perspective[J]. Journal of retailing and consumer services, 2020, 52(1): 101－112.

[42] BARNES S, VIDGEN R. An integrative approach to the assessment of e-commerce quality[J]. Journal of electronic commerce research, 2002, 3(3): 114－127.

[43] LI Y, LIU C. Information resource, interface, and tasks as user interaction components for digital library evaluation[J]. Information processing & management, 2019, 56(3): 704－720.

[44] 刘巧英. 用户交互情境下的图书馆微服务评价研究[J]. 图书馆理论与实践,2019(4):88－92.

[45] 张凤军,戴国忠,彭晓兰. 虚拟现实的人机交互综述[J]. 中国科学:信息科学,2016,46(12):1711－1736.

[46] 赵杨. 基于多维度多层次法的数字图书馆移动服务质量评价模型构建[J]. 情报理论与实践,2014,37(4):86－91.

[47] KIRAN K, DILJIT S. Modeling Web-based library service quality [J] Library & information science research, 2012, 2(5):184－196.

[48] BRADY M K, CRONIN J. Some new thoughts on conceptualizing perceived service quality: a hierarchical approach [J]. Journal of marketing, 2001, 65(7):34－49.

[49] 张龙, 鲁耀斌, 林家宝. 多维多层尺度下移动服务质量测度的实证研究[J]. 南开管理评论, 2009, 12(3):35－44.

[50] 刘阳,朱君璇. 基于移动社交网络的用户体验动态测量研究[J]. 情报理论与实践,2018,41(6):106－110.

[51] LIN H. Determining the relative importance of mobile banking quality factors [J]. Computer standards & interfaces, 2013, 35(2): 195－204.

[52] SAATY T. How to make a decision: the analytic hierarchy process [J]. European journal of operational research, 1990, 48(1): 9－26.

[53] 杜栋,庞庆华,吴炎现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京:清华大学出版社, 2008: 9－33.

[54] 战学秋,温金明. 多层次模糊综合评判法在数字图书馆评价中的应用[J]. 情报科学,2007(7):1035－1038.

[55] MAJUMDAR B, MITRA S. Identification of factors influencing bicycling in small sized cities: a case study of Kharagpur, India[J]. Case studies on transport policy, 2015, 3(3): 331－346.

[56] LAW E, ABRAHAO S. Interplay between User Experience (UX) evaluation and system development[J]. International journal of human-computer studies, 2014, 72(6): 523－525.

作者贡献说明:

王晰巍:负责论文主体内容的构思、撰写和论文的修改;
郑国梦:负责论文的数据分析及部分内容的撰写;
王铎:负责实验的设计、实施及数据收集;
陶冰心:负责问卷的收集与数据处理,英文内容的翻译及处理。

Evaluation and Empirical Study of Virtual Reality Interactive Reading Experience from the Perspective of Human-computer Interaction

Wang Xiwei[1,2,3] Zheng Guomeng[1] Wang Duo[1] Tao Bingxin[1]
[1] School of Management, Jilin University, Changchun 130022
[2] Big Data Management Research Center of Jilin University, Changchun 130022
[3] Cyberspace Governance Research Center of Jilin University, Changchun 130022

Abstract: [**Purpose/significance**] This paper took VR reading user interaction experience as the research object, and constructed a comprehensive, comprehensive and scientific evaluation index system from the interaction process. Combining analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation, a set of reliable and operable evaluation methods was formed, and a specific VR reading experience was taken as an example for evaluation research. This research is not only helpful to understand the current development status and content characteristics of VR reading experience, but also can play a guiding and promoting role in the application of VR interactive reading and the development of VR system. [**Method/process**] Based on the human-computer interaction theory, from five dimensions: the interactive system, interactive content, interactive function, interactive interface design and interactive service subject, the data of this paper were obtained through online and offline questionnaires, and the factor analysis method was used to construct the interactive experience evaluation index system for VR reading users. [**Result/conclusion**] The empirical research results have shown that the evaluation indicators and evaluation methods constructed in this study are feasible and workable, and can obtain comprehensive and comprehensive evaluation results of users' interactive experience of VR reading.

Keywords: human-computer interaction virtual reality reading user interactive experience evaluation research